

# ダムの増設に伴う利根川八斗島基準点における 治水効果の検討

EFFECT OF ADDITIONAL DAMS ON FLOOD CONTROL  
AT YATTAJIMA, THE TONE RIVER, JAPAN

中村 要介<sup>1</sup>・土屋 十圀<sup>2</sup>

Yosuke NAKAMURA and Mitsukuni TSUCHIYA

<sup>1</sup>学生会員 前橋工科大学大学院 工学研究科建設工学専攻 (〒371-0816 群馬県前橋市上佐鳥町460-1)

<sup>2</sup>正会員 工博 前橋工科大学 工学部建設工学科 (〒371-0816 群馬県前橋市上佐鳥町460-1)

This study estimated the safety degree of flood control at Yattajima, the Tone River, Japan to verify effects of additional dams. Rainfall events considered are Catherine Typhoon in 1947, Ise Bay Typhoon in 1959, the Typhoon No. 15 in 1981, and the Typhoon No. 5 in 1998. The storage function method was used for runoff analysis, which showed good agreement between observed and computed discharges.

Using the spatiotemporal rainfall pattern of Catherine Typhoon, this study simulated rainfall-runoff at each time stage; 1959 with two dams, 1981 with five dams, and 1998 with six dams (the same as present situation), and evaluated the effect of these added dams on flood control in terms of the decrease of peak discharge at Yattajima. The decreases estimated were 513-1,253 m<sup>3</sup>/s for the 1959 situation; 2,025-2,765 m<sup>3</sup>/s for 1981; and 2,233-2,973 m<sup>3</sup>/s for 1998. It is also verified that the present situation with six dams can cope with 200-year floods, which is significant improvement because the past situation without dams could cope with 100-year floods.

**Key Words :** Catherine Typhoon, flood control, effect of addition of dams, return period

## 1. 序論

「坂東太郎」で名高い利根川は、日本最大の流域面積(16,840km<sup>2</sup>)と日本第2位の幹川流路延長(322km)をもつわが国を代表する河川のひとつである。

利根川の治水計画は、明治29年の大水害を契機に明治33年に策定された「利根川改修計画」に始まり、大水害の度に変更されてきた。「利根川水系工事実施基本計画」は、新河川法のもと、昭和22年9月洪水(カスリーン台風)を契機に策定された「利根川改修改訂計画」の大綱を引継ぎ、昭和40年に策定された。昭和55年には、昭和22年9月洪水を主要な対象洪水とし、さらに過去の降雨特性及び出水特性を検討して、八斗島基準点における基本高水のピーク流量を22,000m<sup>3</sup>/sとする計画で全面改訂された<sup>1)</sup>。

上記の計画をもとに建設されたダムは、以後の豪雨に対して治水効果を発揮してきた。しかし、近年、ダムだけに依存しない治水対策の在り方に関心が高まっている。これは森林流域を緑のダムに例え、降雨時には森林がピーク流量を低減させ、無降雨時の流量を確保する働きに期待した考えである<sup>2)</sup>。緑のダムを評価する方法は、

水文素過程から検討した研究と、森林土壌の孔隙組成から検討した研究、もしくは、その両者から検討した研究などが挙げられる。水文素過程からは、群馬県の山地小流域(17km<sup>2</sup>)において実測値より最大損失量を算出した既往研究<sup>3)</sup>や、長野県で実際に検討されている保留量曲線を用いた応用例などがある。森林土壌の孔隙組成では、小杉<sup>4)</sup>の雨水貯留量指標を用いる方法がある。さらに、森林土壌の孔隙組成からは寶・立川ら<sup>5)</sup>が滋賀県の高時川流域(100km<sup>2</sup>)内土壌の水分貯留量(緑のダム容量)を定量的に評価し、豪雨時にはその効果に上限があり、緑のダム機能のみでは対処できない洪水があるという結論を導き出している。

一方、台風や前線性降雨の影響を受けやすい日本の国土は毎年各地で被害報告されているのが現状である。2005年には台風14号<sup>6)</sup>が九州、四国、中国地方を襲い、特に宮崎県では1,000mmを超える測候所が3箇所と、記録的な豪雨であった。この台風は秋雨前線と絡み首都圏にも局地的に時間最大100mmの降雨をもたらした。

利根川流域では既往最大洪水であった1947年のカスリーン台風(Catherine; 台風9号)や1959年の伊勢湾台風での被害が挙げられる。それらを含む利根川八斗島基準点

表-1 利根川上流域における上位10洪水

洪水生起年月日 <sup>※1</sup>	八斗島ピーク流量(m <sup>3</sup> /s)	流域平均3日雨量(mm)	ダム群の管理開始状況
1935.9	9,030		ダムなし
1941.7	8,990		
<b>1947.9.15</b>	<b>(17,000)<sup>※2</sup></b>	<b>318</b>	
1949.9.1	10,500	204	藤原ダム
1958.9.18	8,730	168	相俣ダム
<b>1959.8.14</b>	<b>8,280</b>	<b>214</b>	菌原ダム
<b>1981.8.23</b>	<b>7,367</b>	<b>253</b>	矢木沢ダム
1982.8.2	7,529	223	下久保ダム
1983.9.13	8,006	209	
<b>1998.9.16</b>	<b>9,770</b>	<b>185</b>	奈良俣ダム

※1 S10(1935)~H16(2004)のデータ

※2 ( )書きは推定値

※3 太字は研究対象降雨

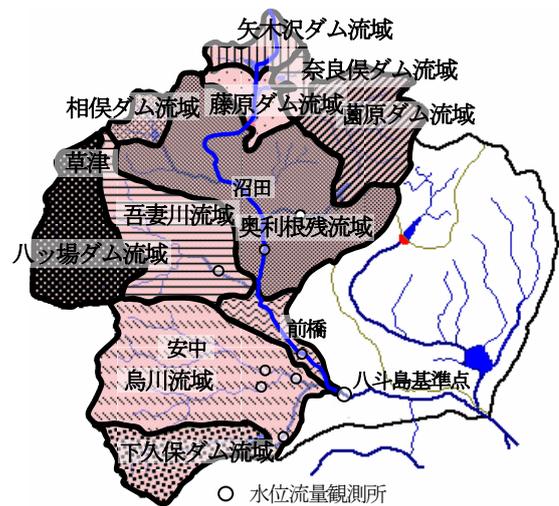


図-1 利根川上流域図

表-2 利根川上流域における保有ダムとダム流域の概要

ダム名称	管理開始	ダム緒元	流域面積	洪水調節 <sup>※</sup>
藤原ダム	1958.8	重力式	133.7km <sup>2</sup>	21,200( 4,880)千m <sup>3</sup>
相俣ダム	1959.7	重力式	112.6 km <sup>2</sup>	9,400( 0)千m <sup>3</sup>
菌原ダム	1966.3	重力式	496.6 km <sup>2</sup>	14,140( 920)千m <sup>3</sup>
矢木沢ダム	1967.10	アーチ式	169.0 km <sup>2</sup>	22,100( 22,100)千m <sup>3</sup>
下久保ダム	1969.1	重力式	326.5 km <sup>2</sup>	35,000( 0)千m <sup>3</sup>
奈良俣ダム	1991.4	ロックフィル	95.3 km <sup>2</sup>	13,000( 0)千m <sup>3</sup>
八ッ場ダム	建設中	重力式	713.6 km <sup>2</sup>	65,000(25,000)千m <sup>3</sup>

※洪水期の洪水調節容量および、( )書きは非洪水期の洪水調節容量



図-2 カスリーン台風の進路図  
出典:利根川百年史

における既往洪水上位10洪水を表-1に示した。

上述した規模の総降雨量は緑のダム容量や有効貯留量を上回る値であり、換言すると治水機能を有していない状態と考えられる。今後も台風や前線性の豪雨による計画規模を上回る降雨、即ち、超過降雨は起こり得るため、現存するダム群の治水効果を明らかにする必要がある。

佐山、立川、寶、市川<sup>7)</sup>は、淀川流域の洪水に対する安全性が各年代ごとに向上したことを確認している。

そこで、本研究では利根川上流域においてダムが建設されていなかった戦後から現在までのダムの完成年代別にカスリーン台風等の同一降雨を入力し、ダム群の経年変化に伴う治水効果を検証することを目的とし、ピーク流量の低減を治水安全度により評価した。

## 2. 利根川上流域とダム群

### (1) 対象流域とダムの概要

本研究の対象流域は標高1,834mの大水上山の雪渓を源とする利根川八斗島基準点上流域である。総延長140.5km、流域面積5,150km<sup>2</sup>、平均勾配1/78の一級河川である<sup>1)</sup>。保有する主要ダムは6基であり、全流域面積に対し26%がダムにより流量調節が可能な流域となっている。利根川上流域を図-1に、設置年代別の保有ダムの概要を表-2に示した。

### (2) カスリーン台風の概況

昭和22年(1947年)9月8日、マリアナ諸島東方海上に発生したカスリーン台風は、西に進み発達しながら9月12日の朝、沖ノ鳥島付近で北へ転向した。転向後ますます発達し、紀伊半島をめざして北上を続けた。9月14日の3時には鳥島の西南西420kmの海上にあり、中心気圧960hPa、最大風速20m/sであった。9月17日には北海道東方洋上で消滅した<sup>8)</sup>。その進路図を図-2に示した。

総降雨量は奥利根流域で273mm、吾妻川流域で271mm、及び、鳥・神流川流域で388mmであった。全体の利根川上流域では3日間で318mmの雨が降った。赤城山を中心とする山地一帯で、おびただしい土砂流出が発生<sup>9)</sup>し、このときの八斗島基準点での洪水流量は16,850m<sup>3</sup>/s<sup>10)11)</sup>と推定された。

### 3. 降雨解析

本研究は利根川上流域において実測された降雨データを国土交通省及び群馬県より収集した。解析対象の台風とこのときのダム基数及び雨量観測測数を表-3に示した。

#### (1) 対象降雨と降雨地域特性

本研究で対象とした降雨はその大部分が2日間で振り終えるため、降雨解析期間を2日間と設定した。また、利根川上流域の主要流域は奥利根流域、片品川流域、吾

表-3 対象台風とそのときのダム及び雨量観測所数

台風	ダム数	雨量観測所数	2日間雨量
1947年カスリーン台風	0基	11箇所	326.3mm/2days
1959年伊勢湾台風	2基	26箇所	195.7mm/2days
1981年台風第15号	5基	37箇所	229.1mm/2days
1998年台風第5号	6基	50箇所	187.3mm/2days

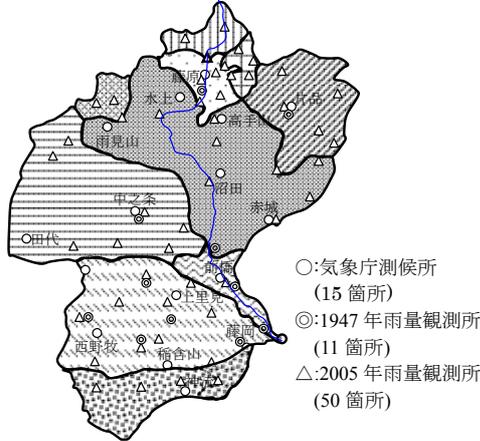


図-3 雨量観測所の配置図

妻川流域，本川残流域，鳥川流域，及び神流川流域の6流域とした。

図-3には利根川上流域の雨量観測所配置図を示した。各流域の降雨地域特性は2日間雨量比として(1)式によって算出した。

$$K_n = \frac{R_n}{\sum_{i=1}^6 R_i} \times 100 \quad (1)$$

ここに、 $K_n$  :  $n$  流域の2日間雨量比(%),  $\sum_{i=1}^6 R_i$  : 主要6流域の2日間雨量の総和(mm/2days),  $R_n$  :  $n$  流域の2日間雨量(mm/2days),  $n$  : 主要流域。

算出された2日間雨量比によって降雨地域分布図<sup>12)</sup>と利根川上流域のハイトグラフを図-4に示した。総降雨量に占める流域別の割合が示されているヘキサゴンの頂点に対象流域とその2日間雨量を示し，その下に利根川上流域2日間雨量を示した。

a) 1947年のカスリーン台風

カスリーン台風は利根川上流域で唯一，2日間雨量が300mmを超えた台風であり，流域平均の時間最大雨量は31.5mm/hであった。図-4より，この台風では片品川流域で降雨が最も少なかった。

b) 1959年の伊勢湾台風

伊勢湾台風の時間最大雨量は14.4mm/hであり，神流川流域で著しく降雨が多かった。この台風の特徴は降雨強度10.0mm/h以下の降雨が2日間継続したことである。

c) 1981年の台風第15号

台風第15号の時間最大雨量は13.4mm/hであり，奥利根流域で降雨が少なく，吾妻川流域での降雨が多かった。

d) 1998年の台風第5号

台風第5号の時間最大雨量は26.8mm/hであり，各流域

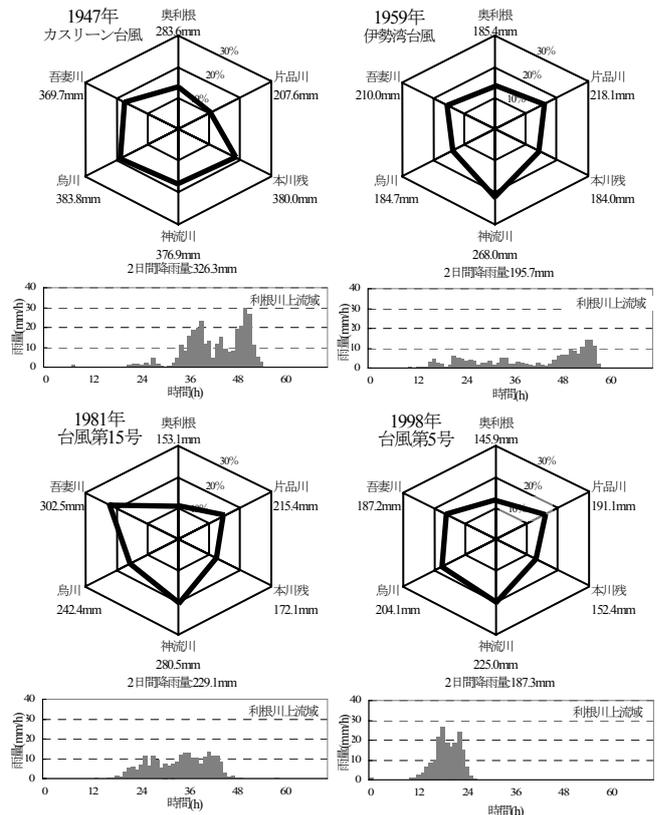


図-4 対象台風における2日間雨量分布割合と利根川上流域のハイトグラフ

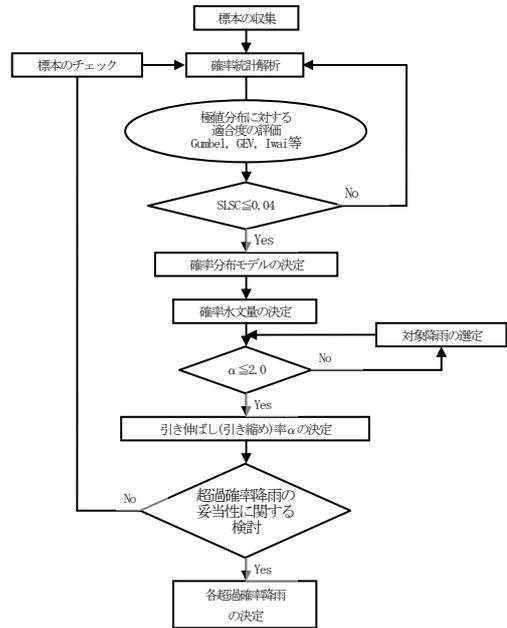


図-5 超過確率降雨設定のフローチャート

の総降雨量は遍在した降雨であり，この台風は降雨継続期間がほぼ1日であった。

(2) 雨量観測所数と流域平均雨量の検定

ダムが増設され，雨量観測所数も1947年11箇所から2004年50箇所まで増加しているため，流出解析を行う上では流域平均雨量の精度が異なることが推測される。よって，雨量観測所数の差は考慮しなければならない。

2005年の50箇所から1947年の11箇所を抽出し，ティー

表-4 ダム放流に関するパラメータの同定結果一覧

ダム名	$A$	$K$	$p$	$f_1$	$f_{sa}$	$R_{sa}$
藤原	133.7	12	0.9	0.6	0.65	50
相俣	112.6	9	0.9	0.5	0.5	75
菌原	496.6	10	0.97	0.35	0.8	80
矢木沢	169.0	8	0.75	0.15	0.2	150
下久保	326.5	10	0.9	0.3	0.3	100
奈良俣	95.3	15	1.4	0.15	0.15	80

$A$ :流域面積(km<sup>2</sup>)  $f_1$ :1次流出率  $f_{sa}$ :飽和流出率  $R_{sa}$ :飽和雨量(mm)

セン分割から流域平均雨量を算出した。この雨量と50箇所の雨量観測所でティーセン分割した流域平均雨量をT検定(5%有意水準)で検討し、総降雨量の比較を行った。また、同様に1959年の26箇所、1981年の37箇所、1998年の43箇所も抽出し、検討を行った。このとき、雨量観測所が移設されていた場合や同じ観測所が存在しない場合は最寄りの観測所として処理した。

その結果、本研究では全て5%の有意水準で境界値を満たし、総降雨量でもその差が最大9.2mm(5%)と低い結果となった。よって、対象とする年では雨量観測所数の相違による影響は極めて少ないと考えることができる。

#### 4. 流出解析

##### (1) 流出モデル

本研究では山地流域の洪水流出解析において一般的に広く用いられ、利根川流域や他の山地河川でも適用事例のある貯留関数法を適用した。

貯留関数法は貯留効果を考慮した非線形の運動の式(2)を時系列の連続式(3)に当てはめたものであり、降雨から洪水流出を計算させる方法である<sup>14)</sup>。

$$S = K \cdot q^p \quad (2)$$

$$r_{ave} - q = \frac{dS}{dt} \quad (3)$$

$$T_l = 0.0506L^{-0.31} \quad (4)$$

ここに、 $r_{ave}$ :流域平均雨量(mm/h)、 $q$ :河道への流出高(mm/h)、 $S$ :降雨の貯留高(mm)、 $K, p$ :モデルパラメータ、 $T_l$ :遅滞時間(h)、 $L$ :流域を代表する河川延長(km)。

##### (2) ダム放流に関する貯留関数法のパラメータ

ダム操作は自然調節方式を除き、人為的な影響を受けやすい。何故なら、ダムは既定操作マニュアルに沿ってダムを運用しているが、不十分な降雨予測や水資源確保の観点から、必ずしも洪水調節図<sup>1)</sup>と同様の操作が行えるとは限らないからである。これは、洪水調節図の放流量は計画上の理想放流量であるのに対し、実測の放流量は経験的な判断を経て決定された放流量であると言い換えることができる。

本研究では実際のダム操作が流出解析に人為的な影響を受けないために前者の各ダムで設定されている洪水調

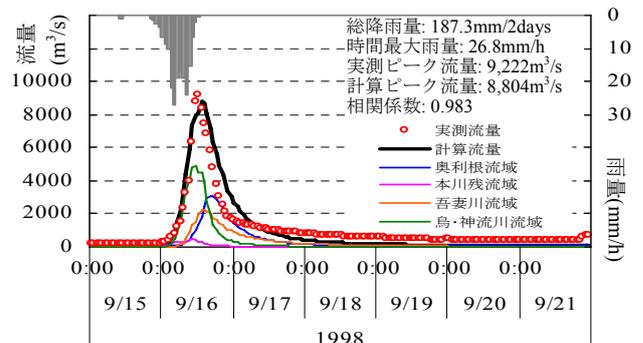


図-6 利根川上流域における同定結果一例(1998年)

表-5 分割流域における200年確率降雨

ダム流域	藤原	相俣	菌原	矢木沢	下久保	奈良俣
200年確率降雨 (mm/2days)	240.2	319.3	219.5	240.2	383.0	240.2
	奥利根残	吾妻	本川残	鐺川	鳥川	神流川
	280.9	276.0	363.9	384.3	382.6	383.0

節図の放流量を対象に同定を行った。また、このときの入力降雨はカスリーン台風を引き伸ばし、各流域の200年確率降雨を用いた。その同定結果を表-4に示した。

ここで、入力降雨に用いた200年確率降雨の算定方法は図-5に示すフローチャートに従い、気象庁ホームページ電子閲覧室<sup>13)</sup>より1976年から2004年の連続した29年間の年最大2日雨量を用い、算出した(表-5)。このとき、採用した測候所は図-3に示す15箇所である。

##### (3) パラメータの同定結果とその考察

パラメータを同定するにあたり、各年の流量データの有無にもよるが、利根川上流域を主に各ダム流域、奥利根残流域、片品川残流域、吾妻川流域、本川残流域、鳥・碓氷川流域、鐺川流域、神流川流域、及び神流川残流域に分割した。また、パラメータの同定にはできる限り実測流量値を用い、データの欠測している場合は既往研究<sup>9)14)15)</sup>を参考に、妥当性を考慮しながら決定した。1998年の同定結果を図-6に事例として示した。いずれの年も実測値と計算値の相関性は強く、立ち上がり部とピークは良い再現性が認められるが、逓減部において良い一致が認められなかった。また、(5)式により実測値と計算値の誤差<sup>16)</sup>が0.03以下となるようにした。

$$E = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left\{ \frac{Q_0(i) - Q_c(i)}{Q_{0p}} \right\}^2 \quad (5)$$

ここに、 $E$ :誤差、 $Q_0(i)$ : $i$ 時の実測流出量、 $Q_c(i)$ : $i$ 時の計算流出量、 $Q_{0p}$ :実測の最大流出量、 $N$ :計算時間数。

各検証年の同定結果と特徴を述べる。

a)1959年は実測ピーク流量と計算ピーク流量のピーク差-610m<sup>3</sup>/s、相関係数0.976、誤差E=0.007(≤0.03)、計算値の逓減が早かった。

b)1981年は実測ピーク流量と計算ピーク流量のピーク差+620m<sup>3</sup>/s、相関係数0.984、誤差E=0.006、計算値の逓減が遅かった。

c)1998年は実測ピーク流量と計算ピーク流量のピーク差420m<sup>3</sup>/s, 相関係数0.983, 誤差E=0.004, 計算値の通減が遅かった。

また, 図-6より八斗島基準点におけるハイドログラフの立ち上がりが烏・神流川流域, ピークが吾妻川流域, 及び, 逡減部が奥利根流域の洪水による影響が強いことがわかった。一方, 1959年や1981年のように2日間にわたって同一の降雨強度が継続する降雨では(図-4), 上述した各主要流域の流出特性が顕著に現れなかった。

#### (4) パラメータの同定に関する仮定

解析を行う上での主な仮定は下記のとおりである。

i) 流出は直接流出と基底流出の成分からなり, 洪水流出計算では基底流量は一定とする。

ii) 流域平均雨量が飽和雨量より小さいときは流出域のみで流出が発生し, 一方, 流域平均雨量が飽和雨量以上のときは飽和流出現象に移行し, 浸透域でも流出が発生する。

iii) 河道は河道貯留を考慮せず, 遅滞時間のみを考慮する。また, 遅滞時間は降雨規模に因らず一定とする。

iv) 実測値が存在する場合はパラメータを経験的に決定し, 存在しない場合は利根川の経験式<sup>15)</sup>や既存の研究報告<sup>8)14)</sup>などを参考に便宜的に決定する。

v) ダム放流は洪水調節関の放流量に従うものとし, その放流量は貯留関数法で表現される。

ただし, 最終的な計算放流量はダムの計算貯留量とそのダムの治水容量を上回ったときにただし書き操作, すなわち放流量=流入量に移行する(4.(2)参照)。

vi) ダムの流入量は実測値よりパラメータを決定する。

vii) ダムの治水容量等は経年変化していないものとする。

viii) 流域の土地利用は大きく変化していないものとする。

ix) 基準地点での計算流量は各流域で発生した流量曲線を変形せずに算術的に重ね合わせる。

以上の特徴および仮定を踏まえ, 概ね既往洪水が再現できていると考え, このモデルを用いて以下のシミュレーションを行った。

### 5. モデルの検証および考察

#### (1) カスリーン台風の検証および考察

既往最大であるカスリーン台風時のハイドログラフを検証年毎に与え, 貯留関数法によって流出解析を行った。各年でカスリーン台風での建設省(現国土交通省)による推定流量と計算流量および, ダムなしを想定した流量を図-7に示した。ダムなしの計算流量は計算流入量=計算放流量で与えられ, ダムだけを指標として考慮するならば, ダムなしは1947年のカスリーン台風の時と同じ条件になる。したがって, カスリーン台風の流量は16,598~17,338m<sup>3</sup>/sという幅を持たせ, 推測することができる。

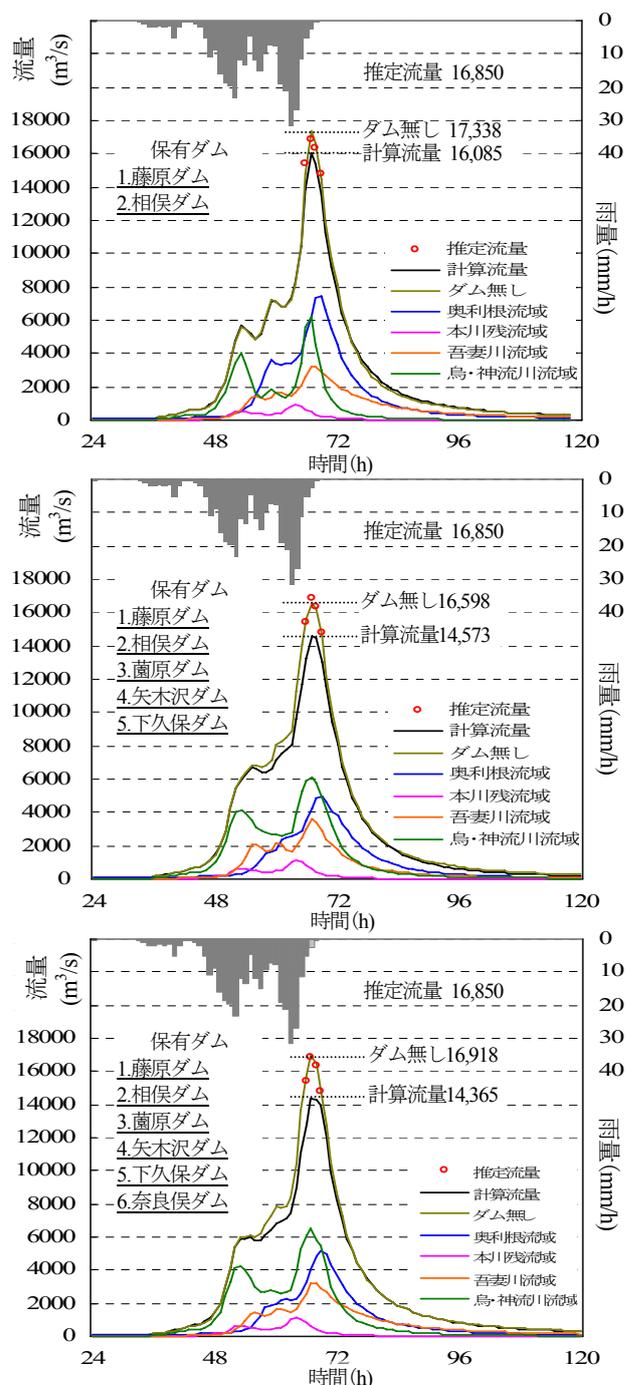


図-7 カスリーン台風によるシミュレーション結果(八斗島基準点)

#### a) ピーク流量の比較

1959年にはダムがない場合のピーク流量と藤原ダム, 相俣ダムで管理された計算流量との差は513~1,253m<sup>3</sup>/sであった。1981年では藤原ダム, 相俣ダムに加え, 菌原ダム, 矢木沢ダム, 下久保ダムで管理された計算流量は2,025~2,765m<sup>3</sup>/s, さらに奈良俣ダムを加えた1998年では2,233~2,973m<sup>3</sup>/sであった。

#### b) 立ち上がり部の比較

下久保ダムのない1959年では61hの流量差が40m<sup>3</sup>/sであったのに対して, 下久保ダムが運用を開始した1981年では1,005m<sup>3</sup>/s, 1998年では1,031m<sup>3</sup>/sと飛躍的に治水効果が増大した。これは, 八斗島基準点までの遅滞時間が最

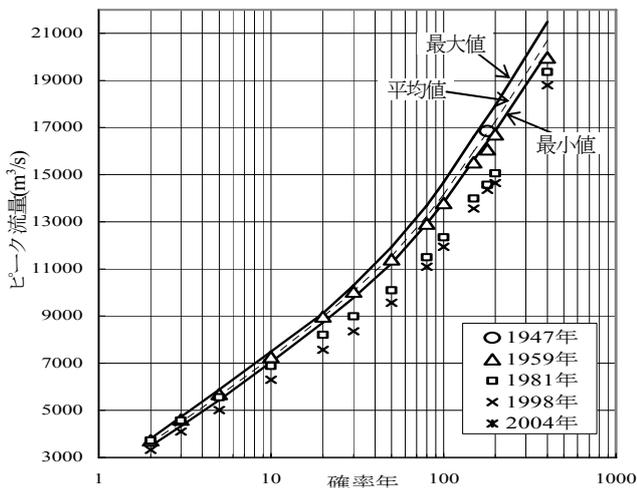


図-8 八斗島基準点のピーク流量

も短い下久保ダムの影響によるものと考えられる。

## (2) 各超過確率降雨での検証および考察

カスリーン台風と同様に各超過確率降雨を入力し、八斗島基準点でのピーク流量の検証を行った。その結果を図-8に示した。図より、2~10年確率の小規模降雨より、それ以上の中・大規模の降雨に対して有効にピークを低減させることがわかった。1998年の200年確率ピーク流量と比較すると、ダムの整備されていない1947年の治水安全度は100~120年確率であったが、1959年には藤原ダムと相俣ダムの治水効果により125年確率とやや向上した。さらに、1981年には菌原ダム、矢木沢ダム、下久保ダムの治水効果により180年確率にまで向上した。また、1998年に200年確率の降雨が発生したとき、ダムによるピークカットは $2,206\sim 3,292\text{m}^3/\text{s}$ であると推測できた。

## 6. 結論

本研究では、利根川上流域の降雨解析を含め、ダム群の完成に伴う治水効果を検証した。以下に得られた成果を示し、本研究の結論とする。

- ・ダムがない状況において、 $14,000\text{m}^3/\text{s}$ に対する治水安全度は100~120年確率であったと推測できるが、1998年には200年確率まで向上した。また、200年確率のピークカットは $2,206\sim 3,292\text{m}^3/\text{s}$ と推測できた。

- ・各検証年でカスリーン台風時のハイレトグラフを入力すると、藤原ダムと相俣ダムでは $513\sim 1,253\text{m}^3/\text{s}$ のピークカットができる。藤原ダム、相俣ダム、菌原ダム、矢木沢ダム、及び、下久保ダムでは $2,025\sim 2,765\text{m}^3/\text{s}$ をピークカットし、さらに、奈良俣ダムを加えると $2,233\sim 2,973\text{m}^3/\text{s}$ をピークカットすることができた。

- ・現在のダムの統合管理では中規模以上の降雨に対し、有効にピーク流量を低減させることがわかった。

- ・下久保ダムはハイドログラフの立ち上がり部の低減に寄与していることがわかった。

今後はシミュレーションの再現性向上のために検証年を増やし、更なる解析データの蓄積が必要であると考えられる。併せて、利根川上流域における降雨の時空間分布特性を把握し<sup>17)</sup>、降雨パターンの違いによる八斗島基準点での洪水規模の検証も行っていく予定である。

**謝辞：**本論文で用いたデータは、群馬県河川課および国土交通省関東地方整備局利根川ダム統合管理事務所より提供していただいた。ここに、記して感謝の意を表す。

## 参考文献

- 1) 国土交通省関東地方整備局利根川ダム統合管理事務所：業務のあらまし，pp. 1-25.
- 2) 服部重昭：森林流域における水循環特性と森林管理，水文・水資源セミナー，pp. 21-23.
- 3) 中村要介，土屋十囀：森林流域における洪水流出抑制機能の評価，水文・水資源学会2004年研究発表会要旨集，pp. 174-175，2004.
- 4) 小杉賢一郎：森林土壌の雨水貯留能を評価するための新たな指標の検討，日林誌，81，pp. 226-235，1999.
- 5) 寶 馨，立川康人ら：「緑のダム」機能による洪水緩和効果に関する研究，水文・水資源学会2004年研究発表会要旨集，pp. 20-21，2004.
- 6) 気象庁ホームページ：<http://www.jma.go.jp/>.
- 7) 佐山敬洋，立川康人，寶 馨，市川 温：広域分布型流出予測システムの開発とダム群治水効果の評価，土木学会論文集，No. 803/II-73，pp. 13-27，2005.
- 8) 自然災害研究会：洪水氾濫のシミュレーション手法，pp. 1-5，55-67，1996.
- 9) 国土交通省関東地方整備局利根川ダム統合管理事務所：人々の暮らしを支えて，利根川ダム統合管理事務所40周年記念誌，pp. 16-17，2005.
- 10) 内務省関東土木出張所：昭和二十二年九月洪水報告
- 11) 建設省関東地方整備局利根川ダム統合管理事務所：利根川上流域における昭和22年9月洪水(カスリーン台風)の実態と解析，1970.
- 12) 高島和夫，村田文人，早川典生：信濃川洪水流量の水文統計解析からみた横田切れ洪水の評価，水文・水資源学会誌，Vol. 18，No. 4，pp. 362-369，2005.
- 13) 気象庁HP電子閲覧室：<http://www.data.kishou.go.jp/>.
- 14) 木村俊晃：貯留関数法による洪水追跡計算法，建設省土木研究所，1961.
- 15) 玉井信行編：河川工学，オーム社，pp. 38，1999.
- 16) 建設省河川局：建設省河川砂防技術基準(案)，調査編，pp. 85-86，1997.
- 17) 高島和夫，村田文人，早川典生：信濃川実績洪水群の降雨特性からみた横田切れの洪水規模の検証，水工学論文集，Vol. 49，pp. 13-18，2005.